

Optimasi *Condensate Extraction Plan* di Lapangan X

Moh Khoiruddin¹, Iskendar¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: mkhoiruddin10@gmail.com, een.iskendar@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi krisis harga minyak dunia yang terjadi sejak akhir tahun 2014 memberikan dampak yang signifikan terhadap kebijakan perusahaan minyak dan gas bumi dalam mengembangkan lapangan. Lapangan X memiliki reservoir dengan kandungan Gas Oil Ratio (GOR) yang tinggi. Hal ini mengindikasikan terdapat potensi kondensat untuk dapat diekstraksi dari gas alam sebelum gas dijual menuju konsumen. *Condensate Extraction Plant* dikembangkan di Lapangan X sejak tahun 2011 dengan kapasitas handling total sebesar 27,5 mmscfd. Seiring dengan penurunan produksi minyak dan gas bumi secara alamiah, diperlukan penyesuaian mode operasi sehingga aset yang dimiliki oleh Lapangan X dapat memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan kondisi sebelumnya. Simulasi proses modifikasi plant dilakukan dengan 5 alternatif skenario proses yaitu Metode Mechanical Refrigeration Mode Operasi Seri dengan Media Pendingin Chilled Water, Metode Mechanical Refrigeration Mode Operasi Pararel dengan Media Pendingin Propana, Metode Mechanical Refrigeration Mode Operasi Seri dengan Media Pendingin Propana, Metode JT-Valves, dan Metode Turbo Expander. Evaluasi teknis dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Unisim*, sedangkan analisa keekonomian dilakukan dengan metode *levelized cost*. Selain itu, dilakukan juga analisis sensitivitas keekonomian terhadap komponen harga gas, harga kondensat, CAPEX, dan OPEX. Berdasarkan hasil simulasi proses dan perhitungan keekonomian, empat alternatif proses skenario secara teknis dan ekonomis dapat dipilih untuk meningkatkan produksi kondensat. Alternatif proses skenario yang paling optimum adalah metode *Mechanical Refrigeration* dengan Media Pendingin *Chilled Water*. Berdasarkan perhitungan sensitivitas NPV dan IRR, parameter yang berpengaruh paling besar terhadap NPV dan IRR skenario proses tersebut adalah harga gas, OPEX dan harga kondensat sedangkan CAPEX memberikan pengaruh terkecil.

Kata kunci: Keekonomian Lapangan, Kondensat, Metode Ekstraksi, Modifikasi *Plant*, Optimasi.

ABSTRACT

The condition of oil price crisis that occurred since the end of 2014 gave significant impact to the policy of oil and gas company in term of planning the development of their field. X field has reservoir that contains high Gas Oil Ratio (GOR). It indicates that condensate has its potency to be extracted from natural gas prior to sales to the consumer. *Condensate Extraction Plant* first developed in 2011 with 27.5 mmscfd capacity of handling. Along with the naturally declining of oil and gas production which is occurred in X Field, the adjustment of operation mode is needed to be carried out. Hence production facilities asset can be operated with higher efficiency rather than previous mode. Process simulation of plant modification is carried out using 5 alternatives of process scenario i.e. *Mechanical Refrigeration with Series Operation Mode using Chilled Water, Mechanical Refrigeration with Pararel Operation Mode using Propane, Mechanical Refrigeration with Series Operation Mode using Propane, JT-Valves, and Turbo Expander*. Technical evaluation is simulated using *Unisim Software*, while Economical Analysis is evaluated using *Levelized Cost Method*. As a comprehensive evaluation, sensitivity analysis also being conducted using 4 input variable i.e., gas price, condensate price, CAPEX, and OPEX. The result of technical and economical evaluation showed that 4 alternatives can be chosen because provide higher production volume of condensate and feasible to be executed. The most optimum scenario is *Mechanical Refrigeration using Water as its coolant media*. Sensitivity analysis concluded that the most impactful input variables that effected on NPV and IRR are Gas Price, OPEX, and Condensate Price, then the less impactful variable is CAPEX.

Keywords: *Condensate, Extraction Method, Field Profitability, Optimization, Plant Modification.*

PENDAHULUAN

Kondensat atau disebut *Natural Gas Plant Liquids* (NGPL) adalah cairan hidrokarbon yang berasal dari proses separasi, fraksinasi atau siklus

proses yang terjadi dalam suatu plant pemrosesan gas alam [1].

Lapangan Migas X salah satu produsen minyak dan gas bumi yang memiliki *Condensate Extraction Plant* dengan kapasitas *feed gas* sebesar

27,5 Million Metric Standard Cubic Feet per Day (MMSCFD) mampu menghasilkan kondensat sebesar 250 barrel per hari. Krisis harga minyak dunia yang menekan *Indonesia Crude Oil Price (ICP)* hingga ke level US\$ 30 per barrel pada tahun 2015 mengharuskan melaksanakan efisiensi biaya eksploitasi berupa minimalisasi pengeboran pengembangan dan perawatan sumur [2]. Kapasitas fasilitas produksi *Condensate Extraction Plant* yang ada pada Lapangan X menjadi berlebih sehingga diperlukan suatu studi untuk mengoptimalkan produksi dengan tujuan memberikan tambahan profit bagi perusahaan serta memaksimalkan pendapatan negara yang diperoleh dari Sektor Hulu Migas.

Berbagai penelitian tentang ekstraksi kondensat, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Mokhatab [3]. Melakukan ekstraksi kondensat dengan sistem refrigerasi dan pola operasinya dapat dilaksanakan dalam 3 pilihan scenario yaitu mode operasi seri dengan media pendingin *chilled water*, mode operasi paralel dengan media pendingin propana, dan mode operasi seri dengan media pendingin propana.

Selain itu terdapat penelitian lain yang menerapkan konsep ekspansi adalah *Joule-Thompson Valve*. Konsep dari rancangan ini adalah mendinginkan aliran gas dengan mengekspansi gas melalui *J-T Valve*. Dengan pertukaran panas yang cukup dan besarnya perbedaan tekanan yang melewati *J-T Valve*, maka temperature yang sangat rendah dapat dicapai yang menghasilkan ekstraksi yang efisien.

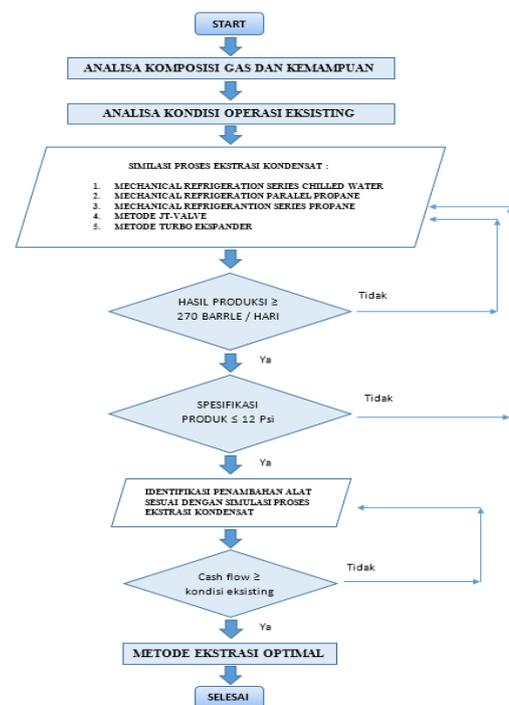
Metode lain yang menggunakan konsep ekspansi adalah metode *Turbo Expander* yang memiliki prinsip hamper sama dengan menggunakan *J-T Valve*. Pendinginan pada metode ini merupakan proses *isentropic* yaitu dalam proses tersebut diperlukan dan menghasilkan kerja. Gas dengan tekanan tinggi akan diturunkan tekanannya melalui ekspander dan proses penurunan tekanan tersebut akan menghasilkan kerja yang kemudian dikonversikan menjadi energi mekanik melalui poros yang menggerakkan sistem booster compressor. Penurunan tekanan gas yang diterapkan dalam Turbo Expander menghasilkan temperatur aliran gas yang lebih rendah daripada *J-T Valve* [4,5].

Berdasarkan penjelasan latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian antara lain metode ekstraksi yang paling tepat digunakan dalam *Condensate Extraction Plant* untuk meningkatkan efisiensi dan utilitas fasilitas produksi yang dimiliki, Parameter operasi yang optimum untuk mencapai persyaratan yang ditentukan, Hasil volume produksi kondensat lebih

besar dari kondisi eksisting Produk kondensat sesuai dengan spesifikasi untuk keperluan transportasi yaitu dengan *Reid Vapour Pressure (RVP)* kurang dari 12 Psia, dan Kelayakan dari investasi yang diperlukan untuk merealisasikan metode yang dipilih sehingga perusahaan dan negara dapat merasakan dampak positif dari penelitian yang dilaksanakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data dari Lapangan X dan proses penelitian menggunakan perangkat lunak simulasi proses UNISIM Versi R390.1. Diagram alir tahapan untuk penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dari kondisi *eksisting* yang terdiri dari hasil produksi kondensat harus lebih besar dari produksi yang dihasilkan *eksisting* yaitu 270 barrel per hari, spesifikasi kondensat memiliki nilai *ried vapour pressure (RVP)* kurang dari 12 Psi, dan *Cash Flow* yang diperoleh lebih dari *eksisting* yaitu lebih dari 149,432 US\$/day.

3.1 Data komposisi, Cadangan dan Kemampuan Produksi Gas Umpam

Komposisi gas umpam yang akan masuk ke Unit Proses Ekstraksi dapat direpresentasikan melalui Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Gas Umpam di Lapangan X

Titik Pengambilan		Outlet Scrubber	
Tekanan Contoh		psi	39,2
Temperatur Contoh		°F	107,4
No	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1	Nitrogen (N2)	%mol	0,17
2	Carbondioxide (CO2)	%mol	2,60
3	Methane (C1)	%mol	65,79
4	Ethane (C2)	%mol	11,55
5	Propane (C3)	%mol	10,90
6	I-Butane (i-C4)	%mol	2,38
7	N-Butane (n-C4)	%mol	3,11
8	i-Pentane (i-C5)	%mol	0,97
9	N-Pentane (n-C5)	%mol	0,84
10	Hexanes (C6)	%mol	0,77
11	Heptanes (C7)	%mol	0,63
12	Octanes (C8)	%mol	0,26
13	Nonanes (C9)	%mol	0,03
14	Decanes (C10)	%mol	0,00
15	Undecanes (C11)	%mol	0,00
16	Dodecanes Plus (C12+)	%mol	0,00
Total			100
Gross Heating Value		btu/scf	1484,6
Specific Gravity		-	0,8995
Compressibility		Z-factor	0,9938

Profil cadangan dari Lapangan X dapat dilihat dalam Tabel 2. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa Struktur X-1 yang memiliki komposisi gas sebagai gas umpam untuk Unit Proses Ekstraksi Kondensat memiliki cadangan sampai dengan 30 tahun mendatang. Hal ini sebagai dasar pertimbangan dari setiap rencana kerja investasi yang akan dilaksanakan.

Tabel 2. Cadangan Gas di Lapangan X

No	Struktur	Gas (MMSCF)					Average Current Prod. Rate (mmscfd)	Life time (years)
		Initial Gas in Place	Estimated Ultimate Recovery	Cumm. Prod.	R. Reserve	Contingent Resources		
1	X-1	1.206	332.846	168.190	162.540	2.117	14,6	30,9
2	X-2	2.460	26.537	17.710	8.275	552	2,7	8,9
3	X-3	-	11.864	5.691	2.031	4.141	0,35	48,3
4	X-4	12.698	63.328	39.111	14.693	9.524	5,54	12,0
5	X-5	-	19.537	9.417	3.161	6.959	0,32	86,6
6	X-6	5.300	4.363	114	3.988	261	0,9	12,9
7	X-7	68.550	60.818	3.724	54.011	3.083	13,5	11,6

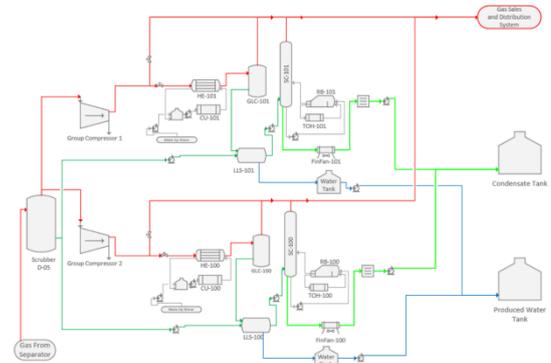
Pada Gambar 2 menunjukkan grafik sejak tahun 2016 hingga 2018 produksi gas stabil di kisaran 15-18 mmscfd.



Gambar 2. Grafik Produksi Lapangan X

3.2 Data dan Kondisi Operasi Eksisting

Fasilitas Unit Proses Ekstraksi Kondensat Lapangan X dapat digambarkan diagram alir proses seperti Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Proses Flow Diagram Unit Proses Ekstraksi Lapangan X

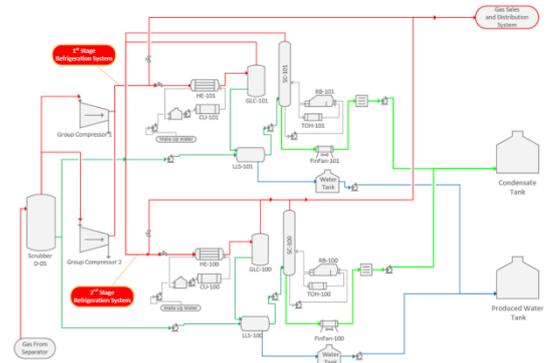


Gambar 4. Hasil Produksi Kondensat Lapangan X

3.3 Penentuan Alternatif Proses

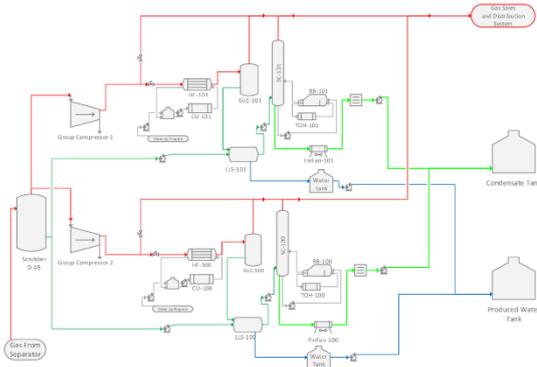
Dari pengumpulan data dan studi literatur didapatkan 5 alternatif proses yaitu:

1. Skenario 1A: Modifikasi Sistem Refrigerasi Mode Seri dengan media pendingin *chilled water*.



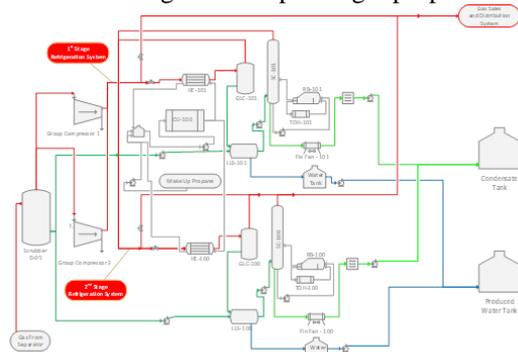
Gambar 5. Diagram Alir Proses Skenario 1A

2. Skenario 1B: Sistem Refrigerasi Eksisting Mode Paralel dengan media pendingin propana.



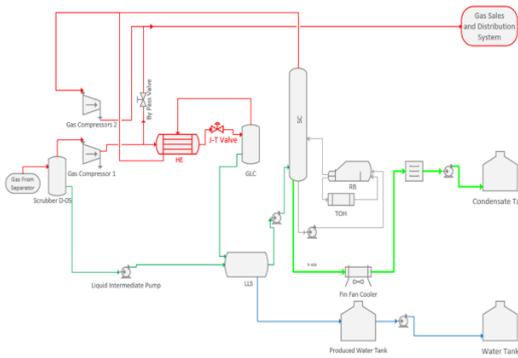
Gambar 6. Diagram Alir Proses Skenario 1B

3. Skenario 1C: Modifikasi Sistem Refrigerasi Mode Seri dengan media pendingin propana.



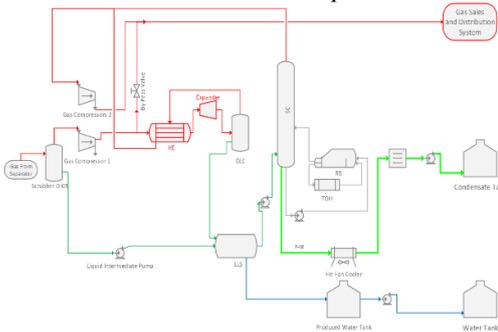
Gambar 7. Diagram Alir Proses Skenario 1C

4. Skenario 2: Metode JT Valve.



Gambar 8. Diagram Alir Proses Skenario 2

5. Skenario 3: Metode Turbo Ekspander.



Gambar 9. Diagram Alir Proses Skenario 3

3.4 Tinjauan & Analisa Keekonomian

Beberapa parameter penting yang akan menentukan nilai keekonomian penelitian ini antara lain:

1. Spesifikasi dan jumlah peralatan yang diperlukan. Parameter ini menentukan nilai CAPEX dan OPEX yang akan diperhitungkan dalam perhitungan NPV dan IRR.
2. Besaran *gain* produksi kondensat yang diperoleh. Tambahan produksi kondensat tersebut akan mempengaruhi nilai pendapatan dari proyek ini. Untuk penghitungan pendapatan dari penjualan kondensat akan menggunakan harga jual ICP Jatibarang Mix dengan kisaran harga 60 US\$/Barrel.

Bentuk umum persamaan untuk menghitung POT, IRR dan NPV dapat dilihat pada Persamaan 1, Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$\sum_{t=0}^{POT} X_t = 0 \quad (1)$$

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (2)$$

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

3.5 Teknik Optimasi

Tujuan dilakukan optimasi adalah mendapatkan *cash flow* pertahun yang lebih besar dari *cash flow* eksisting. Diperlukan konversi produksi gas menjadi barrel oil equivalent, sehingga didapatkan persamaan 4 dimana kondensat dimisalkan X dan gas dimisalkan Y.

$$Z = (X \times \text{harga kondensat} + Y \times \text{Harga Gas Equivalent}) - (OPEX) \quad (4)$$

Batasan dalam optimasi ini adalah:

- Kapasitas produksi kondensat lebih besar daripada produksi eksisting.
($X \geq 270$ Barrel per hari)
- Kapasitas produksi gas harus lebih kecil dari produksi eksisting.
($Y \leq 14.77$ MMscfd)
- Jangka waktu kontrak operasi plan tersebut adalah sampai dengan tahun 2015.

3.6 Pemilihan Proses

Suatu proyek dinyatakan laik apabila NPV bernilai positif dan IRR di atas nilai *Minimum Acceptable Rate of Return* (MARR) yaitu sebesar 10%, sehingga salah satu pertimbangan pemilihan alternatif terbaik akan dilihat dari IRR dan nilai NPV terbesar.

3.7 Analisa Sensitivitas

Pada tahap ini dianalisa perubahan variabel-variabel seperti harga kondensat, harga gas, nilai CAPEX dan OPEX yang mempengaruhi nilai

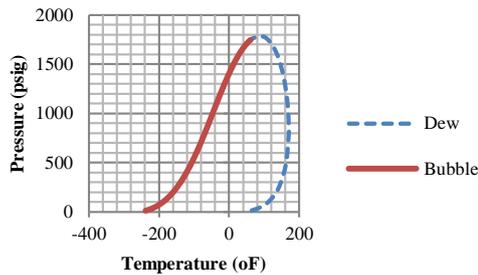
keekonomian seperti IRR dan NVP sehingga didapatkan kesimpulan variabel apa yang paling menyebabkan nilai keekonomian berubah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai beberapa hal diantaranya yaitu hasil analisa kondisi *plant* eksisting, hasil simulasi dari proses skenario, analisa keekonomian dan optimasi dari skenario terpilih yang memenuhi tujuan penelitian, serta analisa sensitivitas dari variabel input yang mempengaruhi nilai keekonomian.

4.1 Analisa kondisi Plant Eksisting

Feed Gas pada sisi inlet *Condensate Extraction Plant* bersumber dari Lapangan X dan memiliki *Phase Envelope* seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. *Phase Envelope* dari Feed Gas Lapangan X

Potensi kondensat dalam gas umpan adalah sebesar ± 505 *barrel per day*, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Potensi Produk dalam Satuan Standard Liquid Flow dari Feed Gas

Karakteristik	Nilai	Satuan
Fraksi Pengotor	2,77	(%-mol)
<i>Sales gas</i>	77,34	(%-mol)
C ₃ - C ₄	16,39	(%-mol)
C ₅ ⁺	3,50	(%-mol)
Kondensat	505	<i>barrel per day</i>

Perbandingan antara jumlah cadangan, umur peralatan, jangka waktu kontrak pengelolaan yang dimiliki Lapangan X dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Umur Peralatan, Cadangan Gas dan jangka Waktu Kontrak Pengelolaan Lapangan X

Pada simulasi kondisi inisial ini, proses pendinginan gas menggunakan *Mechanical Refrigeration* dengan mode operasi paralel dan media pendingin berupa *chilled water* dengan mendapatkan final produk kondensat 244,9 *barrel per day* dengan suhu kondensat sebesar 140 °F dan *Reid Vapour Pressure* (RVP) sebesar 10 Psia.

4.2 Hasil Simulasi Alternatif Proses

Hasil simulasi menunjukkan variasi hasil dengan rentang yang cukup besar bila ditinjau dari hasil produksi yaitu sebesar 244,87 *barrel per day* hingga 384,2 *barrel per day*. Dalam pemilihan proses skenario tersebut terdapat satu skenario yang tidak memenuhi tujuan dari penelitian ini yaitu Skenario *JT-Valves*. Hal tersebut dikarenakan hasil produksi kondensat tidak lebih besar dari target dan kondisi awal yaitu sebesar 28,47 *barrel per day*. Perbandingan hasil simulasi alternatif proses ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil Simulasi Alternatif Proses

Parameter	Current Condition	Mech.Refr (Series - Chilled Water)	Mech.Refr (Paralel - Propane)	Mech.Refr (Series - Propane)	JT- Valves	Turbo Expander
Condensate Parameters						
Condensate Volume (bcpd)	244,87	360,40	378,40	384,20	28,47	322,00
% Extraction Efficiency (%)	48,49	71,37	74,93	76,08	5,64	63,76
Gas Processed (MMSCFD)	0,33	0,46	0,48	0,49	0,01	0,47
Dew Point Temperature (°F)	205	206	203	204	254	210
Cooling Temperature (°F)	74	50	25	20	60	40
Condensate RVP@ 100°F (psia)	10,01	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Lean Gas Parameters						
Lean Gas (mmscfd)	14,77	14,64	14,62	14,61	15,09	14,63
Lean Gas Pressure (psig)	67,92	67,39	67,51	67,53	65,37	67,24
Methane in Lean Gas (% Mole)	310	300	310	300	366	366
Heating Value Lean Gas (btu/scf)	1403	1392	1388	1387	1456	1398
Water Content (lb/mmscf)	0,065	0,0481	0,0381	0,0409	0,379	0,0585
Utilities Parameters						
Power needed by process (hp)	6048	6706	9204	9008	7559	6587
Power produced by process (hp)	26182	26724	26960	26917	23254	25065
% Power Efficiency	76,9%	74,9%	65,9%	66,5%	67,5%	73,7%

Hasil produksi tertinggi dihasilkan oleh proses scenario dengan Metode *Mechanical Refrigeration* mode operasi seri dan media pendingin propana yang menghasilkan penambahan produksi kondensat sebesar 139,33 barrel per day dari kondisi eksisting.

4.3 Analisa Keekonomian Proses Terpilih

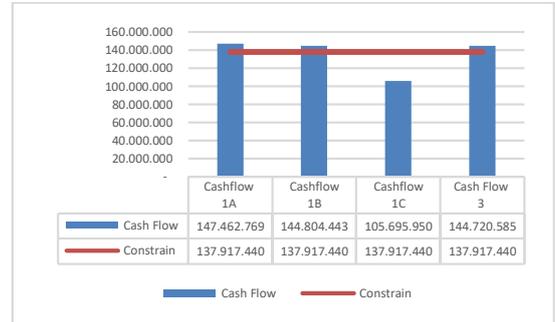
Hasil analisa keekonomian dari seluruh parameter keekonomian menunjukkan bahwa Skenario 1A memberikan hasil keekonomian paling optimum dibandingkan dengan scenario lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Analisa keekonomian

Investment Parameter	Mechanical Refrigeration (Series Mode - Chilled Water)	Mechanical Refrigeration (Paralel Mode - Propane)	Mechanical Refrigeration (Series Mode - Propane)	Turbo Expander
Total Annual Prod. (barrel)	131,546	138,116	140,233	117,530
CAPEX (USD)	\$9,495,772	\$11,871,349	\$11,251,358	\$13,999,788
OPEX (USD)	\$2,588,884	\$2,785,683	\$2,780,627	\$2,619,938
Cash Flow (USD)	\$147,462,769	\$144,804,443	\$105,695,950	\$144,720,585
NPV (USD)	\$57,957,929	\$54,734,477	\$28,580,999	\$52,987,863
IRR (%)	70.1%	59.5%	28.0%	53.3%
POT	Years	1	1	3
	Months	5	8	7

4.4 Analisa Optimasi

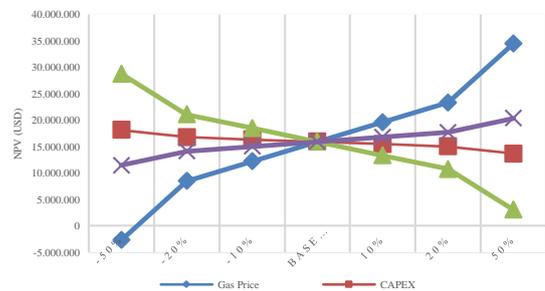
Dari hasil Analisa data total cash flow dapat diketahui bahwa alternatif cash flow pada alternatif skenario 1A memiliki nilai total yang paling besar dari yang lainnya, perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 12.



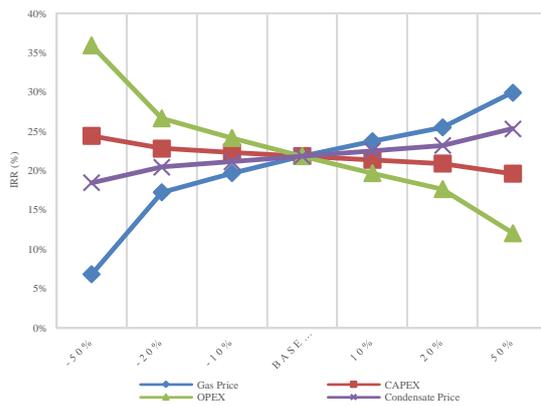
Gambar 12. Perbandingan Cash Flow dari ke 4 Alternatif

4.5 Analisa Sensitivitas

Dari perhitungan sensitivitas NPV dan IRR terhadap keempat variabel, pengaruh terbesar terhadap NPV dan IRR didapatkan dari perubahan harga gas, nilai OPEX, dan harga kondensat. Ketiga parameter ini memberikan pengaruh yang besar terhadap NPV karena besarnya pendapatan dihitung dari efektifitas yang mampu dilaksanakan dalam mengontrol OPEX, jumlah energi yang terjual dalam volume gas sales serta hasil produksi kondensat. Sebaliknya, CAPEX memiliki pengaruh paling kecil terhadap sensitivitas NPV. Hal penting lainnya yang dapat diketahui adalah apabila terjadi penurunan harga gas sebesar 50% dari base scenario maka NPV akan minus dan IRR di bawah 10%.



Gambar 13. Sensitivitas NPV terhadap beberapa Variable Masukan



Gambar 14. Sensitivitas IRR terhadap beberapa Variable Masukan

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 5 alternatif proses skenario yang dievaluasi pada penelitian ini, 4 alternatif proses skenario secara teknis dapat dilakukan untuk mencapai tujuan peningkatan produksi kondensat lebih dari 250 *barrel per day* dengan RVP \leq 12 psia. Empat alternatif proses skenario yang dimaksud yaitu :
 - a. Skenario 1A: Modifikasi Metode *Mechanical Refrigeration* eksisting dari pola operasi paralel menjadi seri dengan media pendingin *Chilled Water*. Hasil produksi sebesar 360,4 *barrel per day*.
 - b. Skenario 1B: Modifikasi Metode *Mechanical Refrigeration* eksisting dengan pola operasi paralel dengan media pendingin Propana. Hasil produksi sebesar 378,4 *barrel per day*.
 - c. Skenario 1C: Modifikasi Metode *Mechanical Refrigeration* eksisting dari pola operasi paralel menjadi seri dengan media pendingin Propana. Hasil produksi sebesar 384,2 *barrel per day*.
 - d. Skenario 3: Penggantian Metode ekstraksi eksisting dengan Metode *Turbo Expander* dengan hasil produksi sebesar 322,0 *barrel per day*.
2. Perhitungan keekonomian dan tabel keputusan untuk masing-masing alternatif skenario menunjukkan nilai NPV yang positif dan IRR yang melebihi target 10%, artinya semua alternatif dapat diaplikasikan.

Alternatif skenario yang paling optimum adalah Skenario 1A karena memberikan Nilai Cash Flow yang paling tinggi yaitu \$147,462,769 serta nilai NPV \$57,957,929 dan IRR 70.1% serta Pay Out Time 1 tahun 5 bulan.

3. Sensitivitas NPV dan IRR dari Skenario 1A dilakukan terhadap empat variabel masukan, yaitu: CAPEX, OPEX, harga gas, dan harga kondensat. Variabel masukan yang berpengaruh paling besar pada NPV dan IRR adalah harga gas dan OPEX. Sedangkan CAPEX memberikan pengaruh terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] (Online Source) U.S. Energy Information Administration, "Natural Gas Plant Liquids", 2014.
- [2] (Online Source), Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2017, Maret 03). Available: <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.php?r=produksiMinyakMentah/index>
- [3] Saeid, M., William, A. P., & John, Y. M. (Februari, 2015). Handbook of Natural Gas Transmission. Gulf Professional Publishing.
- [4] Gas Processors Suppliers Association, "GPSA Engineering Data Book," 11th ed, 2012, Vol 1.
- [5] Gas Processors Suppliers Association, "GPSA Engineering Data Book," 11th ed, 2012, Vol 2.